



MUNI

Kartografické modelování IV - analýzy terénu jaro 2021

Petr Kubíček

kubicek@geogr.muni.cz

**Laboratory on Geoinformatics and Cartography (LGC)
Institute of Geography
Masaryk University
Czech Republic**

Kartografické modelování



Topografické funkce a DMT

Zdroje DMT

- DPZ (fotogrametrie, LiDAR)
- Pozemní měření (geodetická, vrstevnice z map) -> nutná interpolace
- Neexistuje jediný nejlepší interpolátor pro DMT

Cíl:

- dobrá reprezentace významných prvků (hřbety a údolí).
- Hydrologicky korektní model (eliminace bezodtokých oblastí).

Hlavní topo funkce:

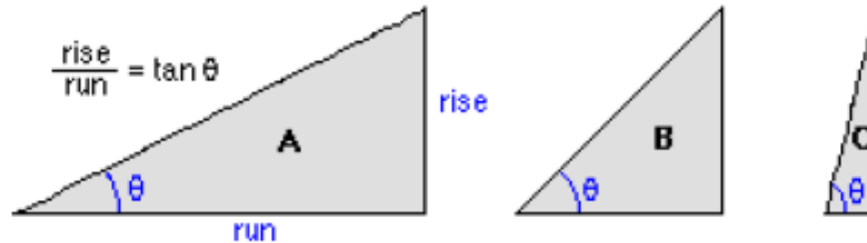
- Sklon a expozice
- Zakřivení – horizontální a vertikální
- Osvětlení terénu
- Potenciální solární radiace

Sklon svahu

- Vychází z definice první parciální derivace povrchu (vektorů)
- Technicky řešeno pohybem okna 3x3 nebo 5x5 pixelů
- Mnoho metod, ale všechny na principu 1. derivace

Degree of slope = θ

Percent of slope = $\frac{\text{rise}}{\text{run}} * 100$



Degree of slope =

30

45

76

Percent of slope =

58

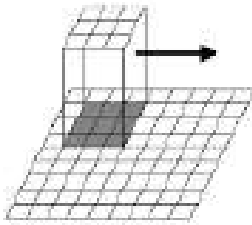
100

373

Comparing values for slope in degrees versus percent

- 100procentní svah znamená, že na jednom metru vodorovné délky svah překoná výškový rozdíl také jednoho metru (neboli 100% vodorovné délky – proto 100% svah). Jde tedy o sklon 45 °.

Kartograf



delování

Realizace výpočtu pomocí fokální funkce.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Surface scanning
window

Výpočet

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * x_cellsize)$$

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * y_cellsize)$$

Radiány a stupně – oblouková a stupňová míra

Výseč kruhu s délkou stejnou jako poloměr toho kruhu má *úhel* rovný 1 radiánu. Plný kruh odpovídá úhlu 2π radiánů

$$\alpha = \frac{a \cdot 180}{\pi}$$

$$a = \frac{\alpha \cdot \pi}{180}$$

Tedy:

Kart $1 \text{ rad} = \frac{180^\circ}{\pi} \approx 57,296^\circ \approx 57^\circ 17' 45''$



a 50	b 45	c 50
30	30	30
8	10	10

$$\begin{aligned}
 [dz/dx] &= ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * x_cellsize) \\
 &= ((50 + 60 + 10) - (50 + 60 + 8)) / (8 * 5) \\
 &= (120 - 118) / 40 \\
 &= 0.05
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [dz/dy] &= ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * y_cellsize) \\
 &= ((8 + 20 + 10) - (50 + 90 + 50)) / (8 * 5) \\
 &= (38 - 190) / 40 \\
 &= -3.8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 rise_run &= \sqrt{([dz/dx]^2 + [dz/dy]^2)} \\
 &= \sqrt{((0.05)^2 + (-3.8)^2)} \\
 &= \sqrt{(0.0025 + 14.44)} \\
 &= 3.80032
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 slope_degrees &= ATAN(rise_run) * 57.29578 \\
 &= ATAN(3.80032) * \mathbf{57.29578} \\
 &= 1.31349 * 57.29578 \\
 &= 75.25762
 \end{aligned}$$

59	56	59
71	75	70
60	63	57

Kartografické modelování

elevations

10	16	23	16	9	6
14	11	18	11	18	19
19	15	13	21	23	25
22	20	19	14	38	45
24	20	20	28	18	49
23	24	34	38	45	51

$$\frac{23+18+13-10-14-19}{6 \times 10} = 0.1833$$

0.15	0.50	0.00	-0.47	-0.20	-0.08
-0.02	0.18	0.10	-0.07	0.03	0.00
-0.12	-0.05	0.00	0.48	0.72	0.17
-0.13	-0.18	0.13	0.45	0.93	0.67
-0.05	0.10	0.27	0.47	1.08	0.73
-0.03	0.30	0.60	0.33	0.78	0.72

$$\frac{19+15+13-10-16-23}{6 \times 10} = -0.0333$$

$$\sqrt{(0.1833)^2 + (-0.0333)^2} = 19\%$$

df/dx

df/dy

-0.05	0.10	0.25	0.02	-0.28	-0.58
-0.28	-0.03	0.10	-0.15	-0.63	-0.87
-0.35	-0.27	-0.22	-0.40	-0.82	-1.20
-0.25	-0.28	-0.32	-0.15	-0.43	-0.72
-0.17	-0.37	-0.72	-0.77	-0.62	-0.32
-0.03	-0.28	-0.47	-0.85	-0.65	-0.52

16	51	25	47	35	59
28	19	14	16	63	87
37	27	22	63	109	121
28	34	34	47	103	98
17	38	77	90	125	80
5	41	76	91	102	88

slope (%)



Příklad



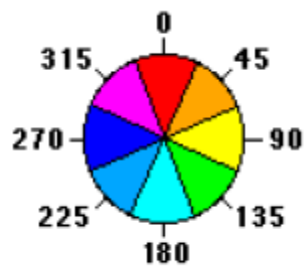
Expozice (aspect)

- Opět založeno na první derivaci ve dvou směrech x a y .
- Měřeno od severu (0°) ve stupních po směru hodinových ručiček
- Nejen pro určení orientace svahu, ale také základní algoritmus pro určení směru proudění v buňce – základ hydrologických analýz

$$\text{ASPECT} = 180 - \arctan\left(\frac{q}{p}\right) + 90 \cdot \frac{p}{|p|}$$

$$p = \frac{\partial z}{\partial x'} \quad q = \frac{\partial z}{\partial y}$$





Aspect directions

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Surface window

Výpočet expozice

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8$$

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8$$

$$\mathbf{aspect} = 57.29578 * \mathbf{atan2} ([dz/dy], -[dz/dx])$$

if $aspect < 0$

$cell = 90.0 - aspect$

else if $aspect > 90.0$

$cell = 360.0 - aspect + 90.0$

else

$cell = 90.0 - aspect$

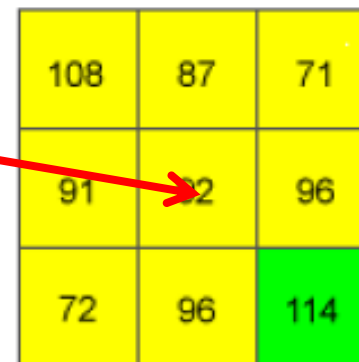
Příklad

$$\begin{aligned} [dz/dx] &= ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8 \\ &= ((85 + 170 + 84)) - (101 + 202 + 101)) / 8 \\ &= -8.125 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [dz/dy] &= ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8 \\ &= ((101 + 182 + 84) - (101 + 184 + 85)) / 8 \\ &= -0.375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} aspect &= 57.29578 * atan2 ([dz/dy], -[dz/dx]) \\ &= 57.29578 * atan2 (-0.375, 8.125) \\ &= -2.64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} cell &= 90.0 - aspect \\ &= 90 - (-2.64) \\ &= 90 + 2.64 \\ &= 92.64 \end{aligned}$$



Aspect of elevation

- Flat (-1)
- North (0-22.5)
- Northeast (22.5-67.5)
- East (67.5-112.5)
- Southeast (112.5-157.5)
- South (157.5-202.5)
- Southwest (202.5-247.5)
- West (247.5-292.5)
- Northwest (292.5-337.5)
- North (337.5-360)

Kartografické modelování

Aspect example output

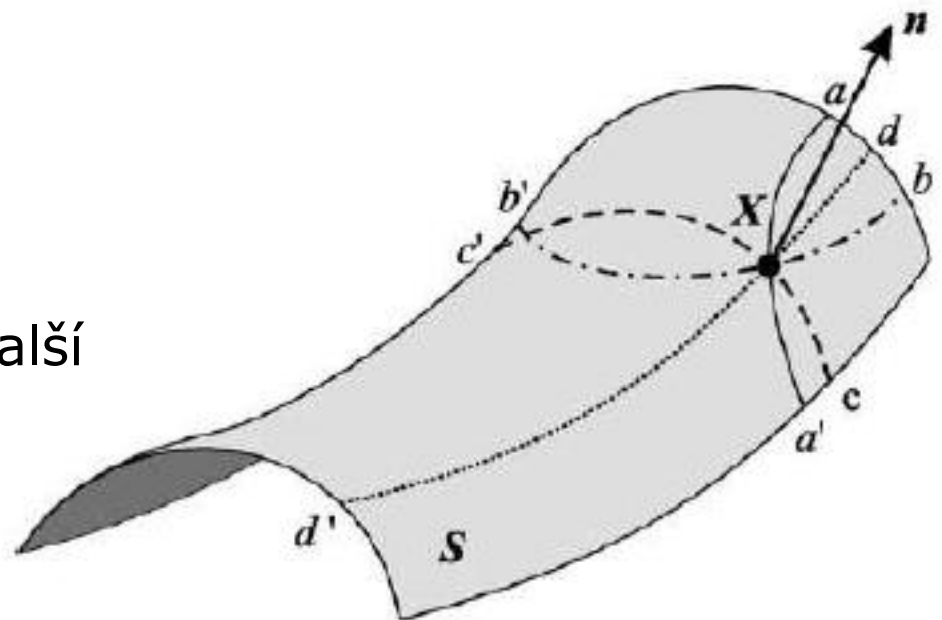
if aspect < 0
cell = 90.0 -
aspect



Zakřivení (Curvature)

- Založeno na **druhé derivaci** změn povrchu.
- Lze si představit např. jako křivku vzniklou průsečíkem roviny kolmé k povrchu a tohoto povrchu – záleží na směru roviny vzhledem k povrchu!!!
- Čtyři přirozené směry zakřivení:
 - a) Profil (**vertikální** zakřivení) aa'
 - b) Tangenciální (**horizontální**) bb'
 - c) Maximální cc'
 - d) Minimální dd'
- Na jejich základě definované další typy zakřivení

$$k = \frac{\frac{d^2z}{dz^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{1.5}}$$



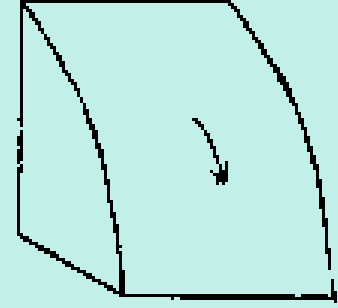
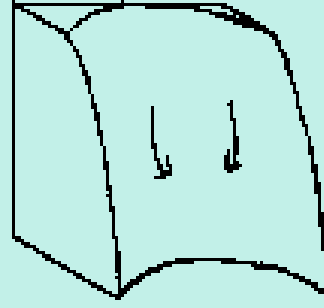
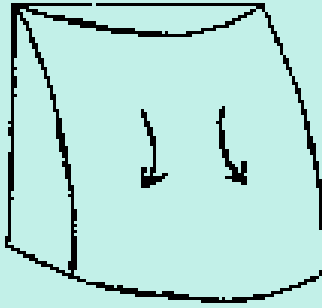


Convex

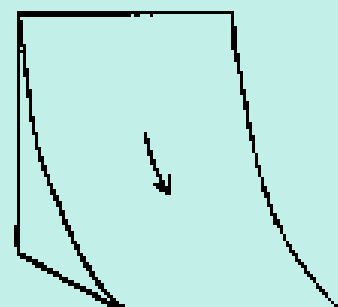
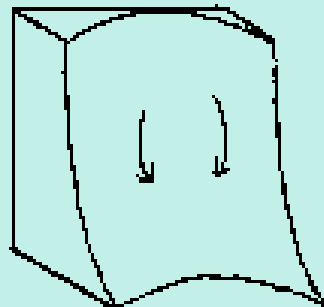
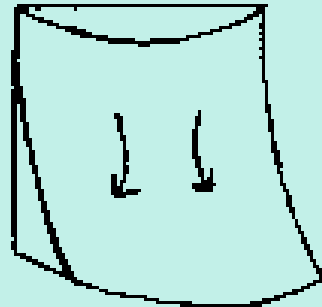
Concave

Plane

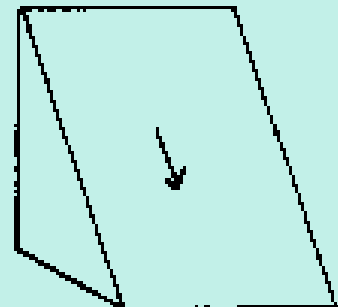
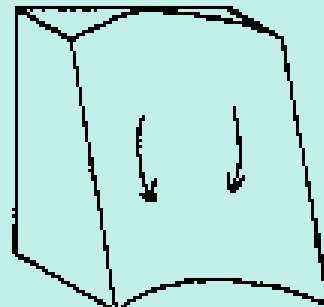
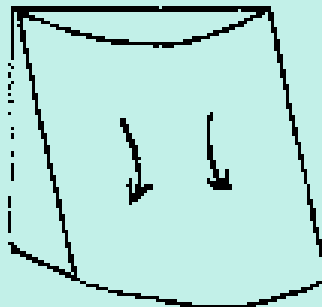
Convex



Concave

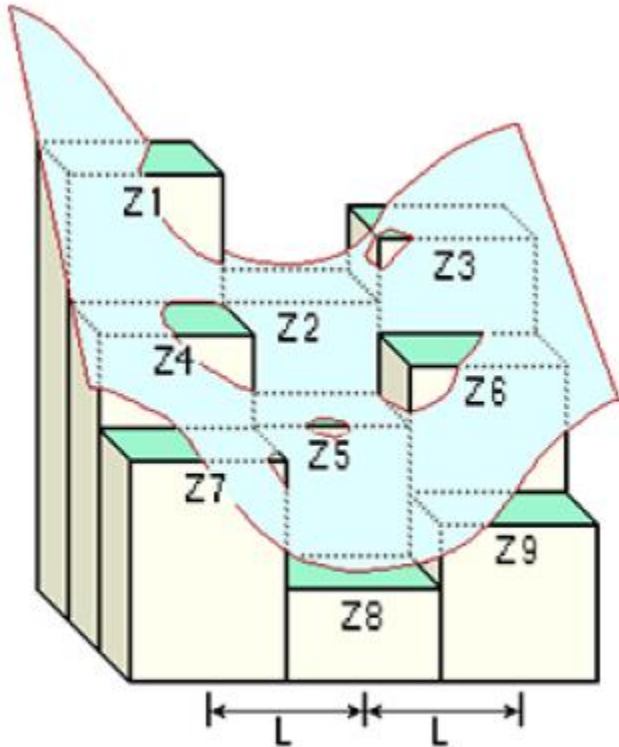


Plane



Polynomická rovnice pro 3x3 buňky:

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I$$



Curvature values diagram

$$\mathbf{A} = [(Z1 + Z3 + Z7 + Z9) / 4 - (Z2 + Z4 + Z6 + Z8) / 2 + Z5] / L^4$$

$$\mathbf{B} = [(Z1 + Z3 - Z7 - Z9) / 4 - (Z2 - Z8) / 2] / L^3$$

$$\mathbf{C} = [(-Z1 + Z3 - Z7 + Z9) / 4 + (Z4 - Z6) / 2] / L^3$$

$$\mathbf{D} = [(Z4 + Z6) / 2 - Z5] / L^2$$

$$\mathbf{E} = [(Z2 + Z8) / 2 - Z5] / L^2$$

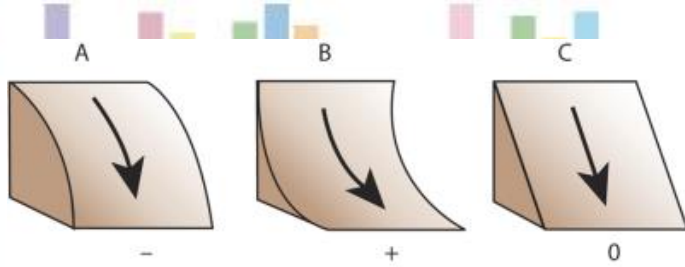
$$\mathbf{F} = (-Z1 + Z3 + Z7 - Z9) / 4L^2$$

$$\mathbf{G} = (-Z4 + Z6) / 2L$$

$$\mathbf{H} = (Z2 - Z8) / 2L$$

$$\mathbf{I} = Z5$$

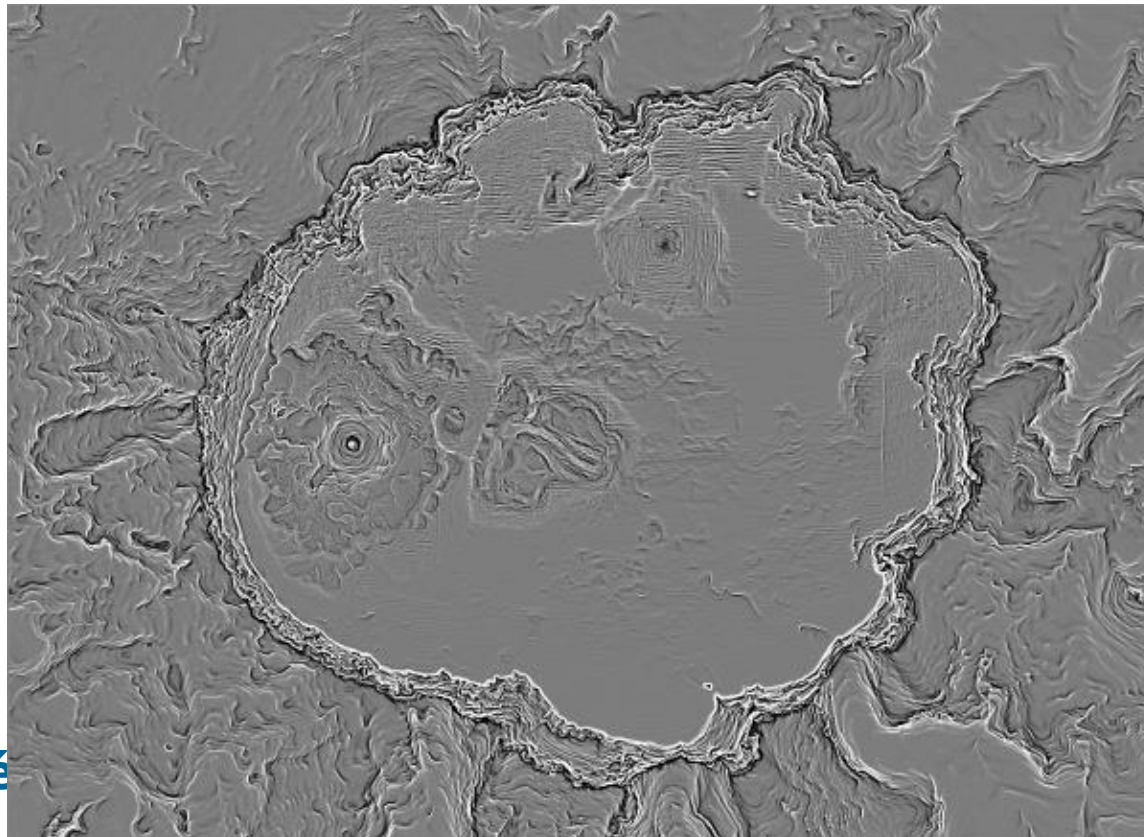
$$\mathbf{Curvature} = -2(\mathbf{D} + \mathbf{E}) * 100$$

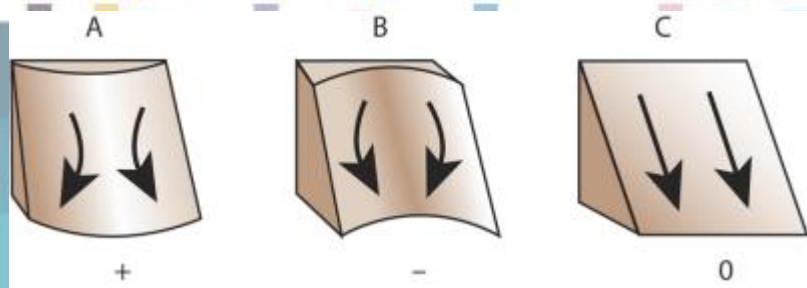


Příklady a užití – vertikální (profile)

Paralelní se směrem maximálního sklonu. **Negativní** hodnota = svah je směrem nahoru **konvexní**; **pozitivní** hodnota = svah je směrem nahoru **konkávni**; 0 = svah je lineární (rovný).

Ovlivňuje zpomalení či zrychlení povrchového odtoku. Terasy!

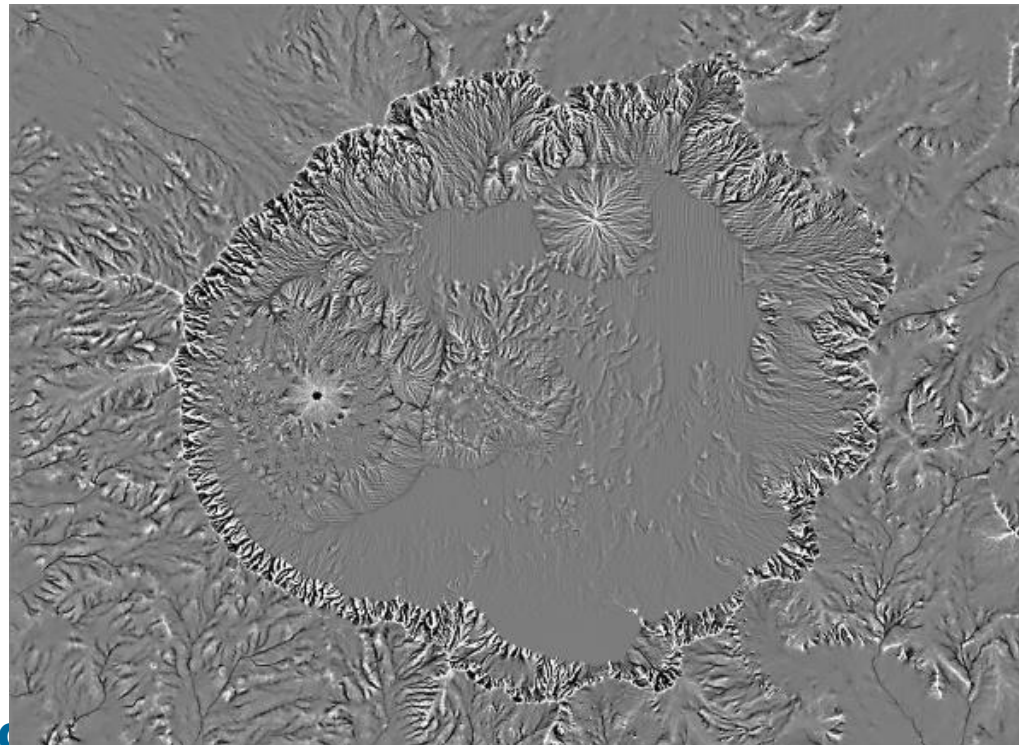




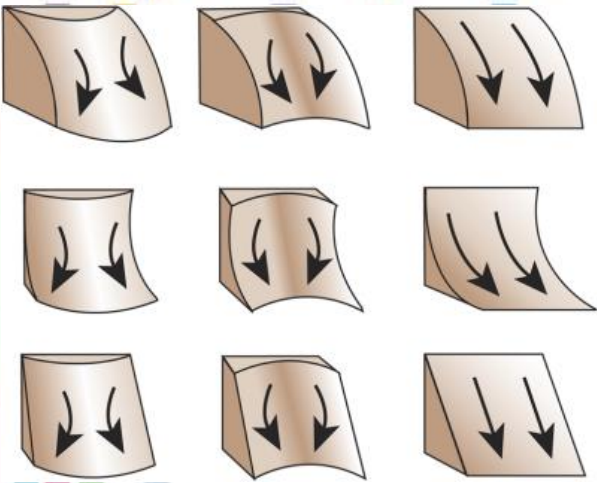
Příklady a užití – horizontální (plan)

Kolmá na směr maximálního sklonu. **Negativní** hodnota = svah je směrem do boků **konkávní**; **pozitivní** hodnota = svah je směrem do boků **konvexní**; 0 = svah je lineární (rovný).

Ovlivňuje konvergenci či divergenci povrchového odtoku. Údolnice a hřbetnice!

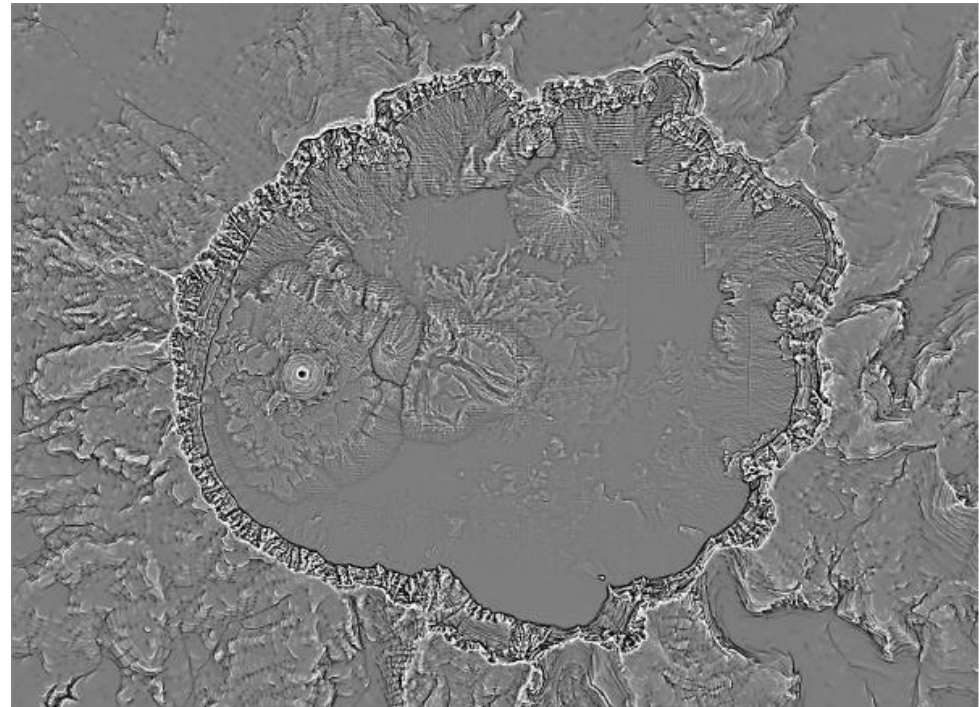


Příklady a užití - kombinace

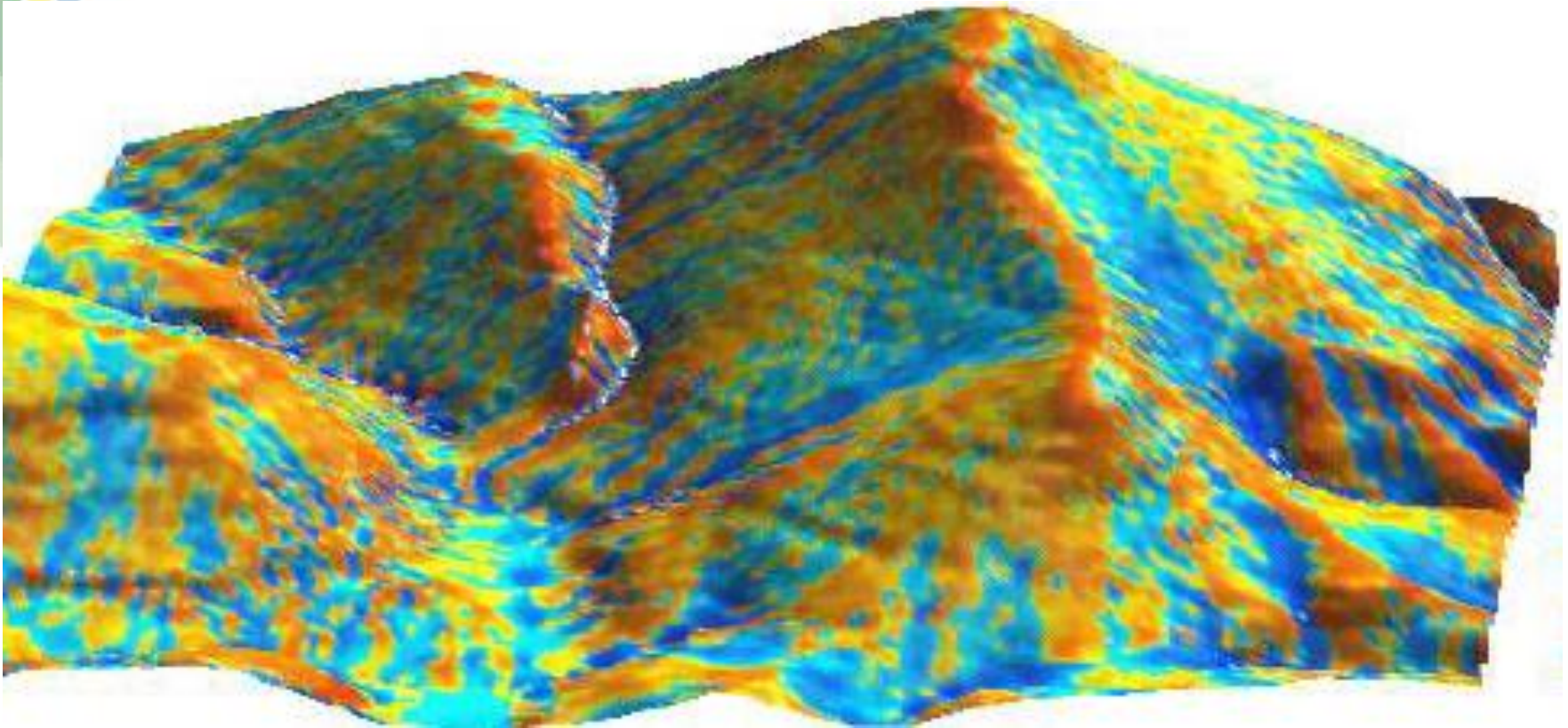


- Zásadní pro hydrologické analýzy:
 - Akumulace vody ale i substrátu – eroze
 - Přímá souvislost s vlhkostí stanoviště (vertikální zakřivení)
- Zjištění konkávních (chráněných) a konvexních (exponovaných povrchů) může být využito i v mnoha jiných oborech (např. predikce výskytu druhů, akumulace apod.)

Kartografické modelování



Zakřivení (ukázka)



Kartografické modelování



Osvětlení (hillshading)

Cílem je vytvořit dojem plastického (3D) modelu terénu pomocí jeho nasvícení (hillshading = shaded relief map)

Parametry světelného zdroje:

- **Azimut** (typická hodnota 315°)
- **Výška nad horizontem**, jako úhel - elevace (typická hodnota 45°)

Různé postupy výpočtu

- ArcGIS
- **Hillshade = 255.0 * ((cos(Zenith_rad) * cos(Slope_rad)) + (sin(Zenith_rad) * sin(Slope_rad) * cos(Azimuth_rad - Aspect_rad)))**
- Může být použito ale i pro jednoduchou analýzu zastínění terénu, při dané poloze slunce – předstupeň pro plnohodnotnou analýzu potenciální přímé sluneční radiace (PDSI)

Úhel osvětlení

$$(2) \textit{Zenith_deg} = 90 - \textit{Altitude}$$

Convert to radians:

$$(3) \textit{Zenith_rad} = \textit{Zenith} * \pi / 180.0$$

Směr osvětlení

$$(4) \textit{Azimuth_math} = 360.0 - \textit{Azimuth} + 90$$

Note that if $\textit{Azimuth_math} \geq 360.0$, then:

$$(5) \textit{Azimuth_math} = \textit{Azimuth_math} - 360.0$$

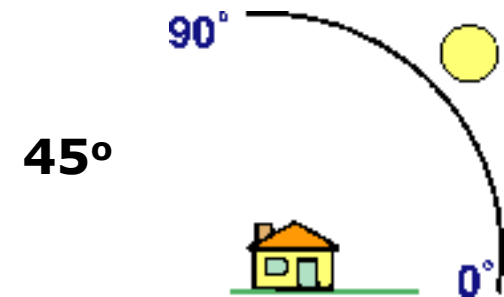
Convert to radians:

$$(6) \textit{Azimuth_rad} = \textit{Azimuth_math} * \pi / 180.0$$

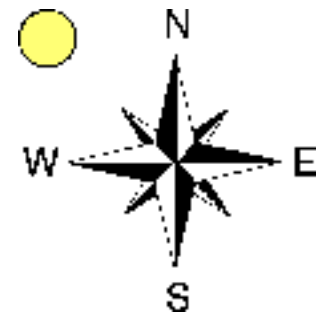
Sklon svahu

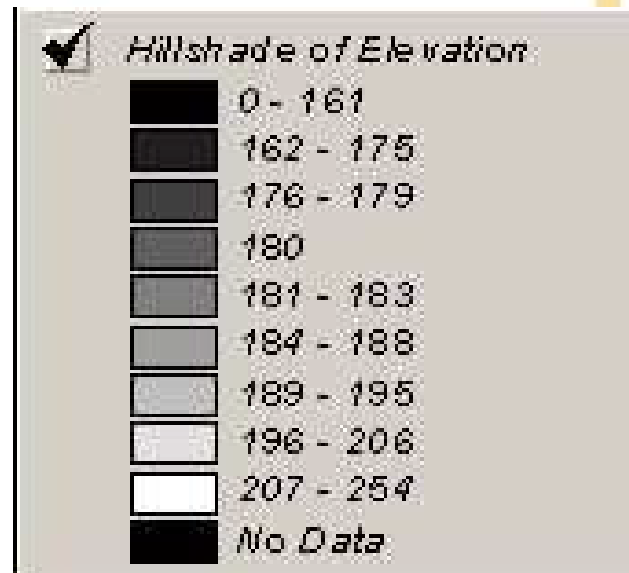
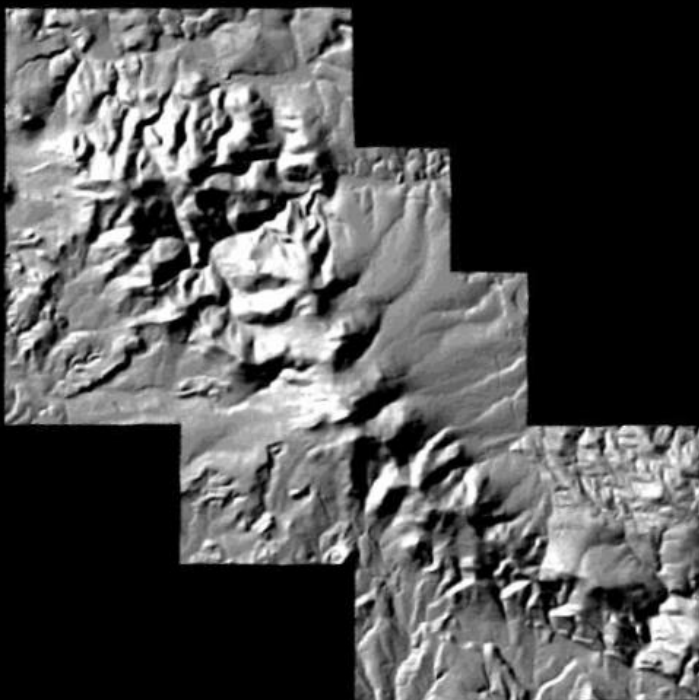
Orientace svahu

Výpočet

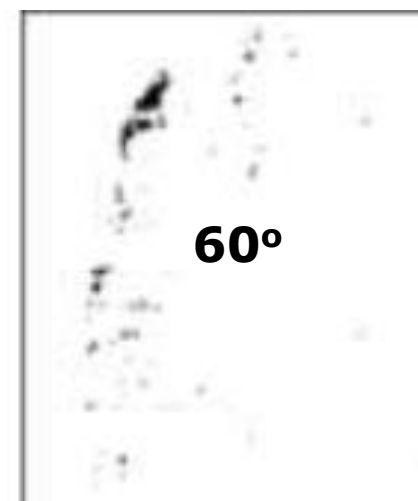
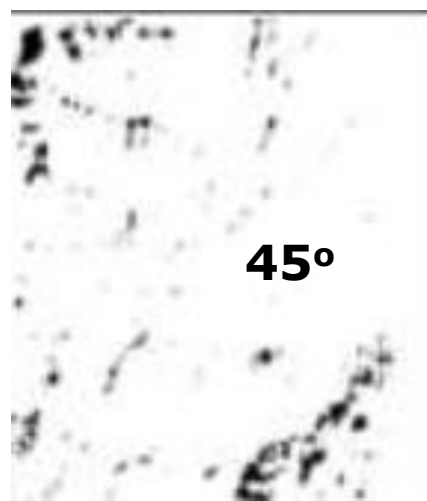


315°





Kartografické modelování



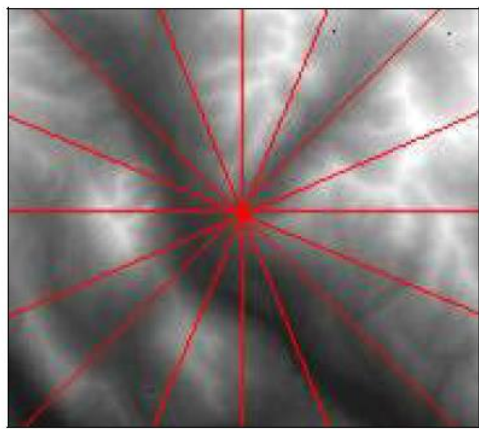


Potenciální solární radiace

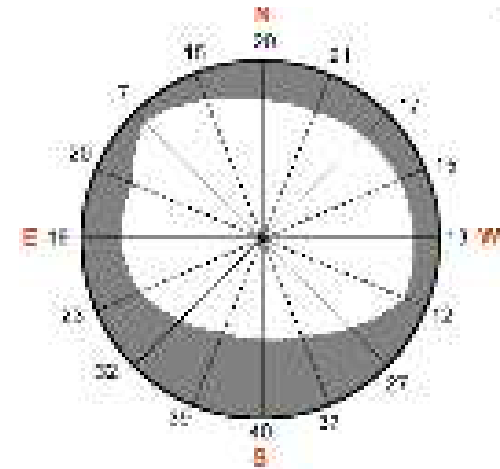
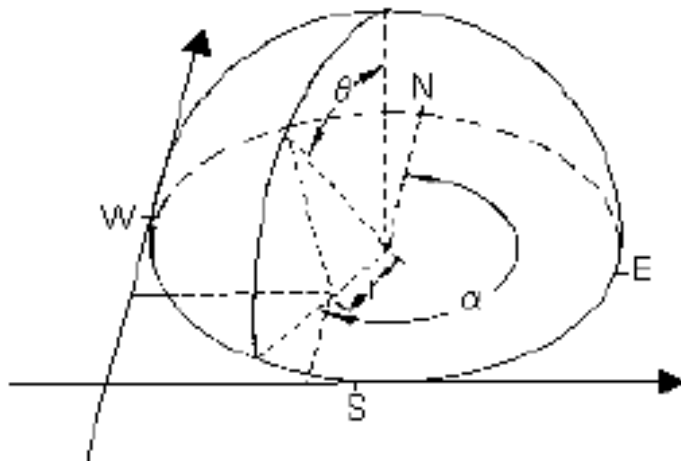
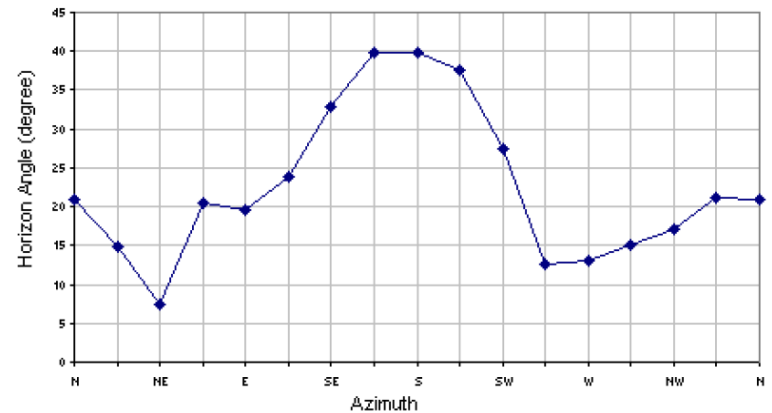
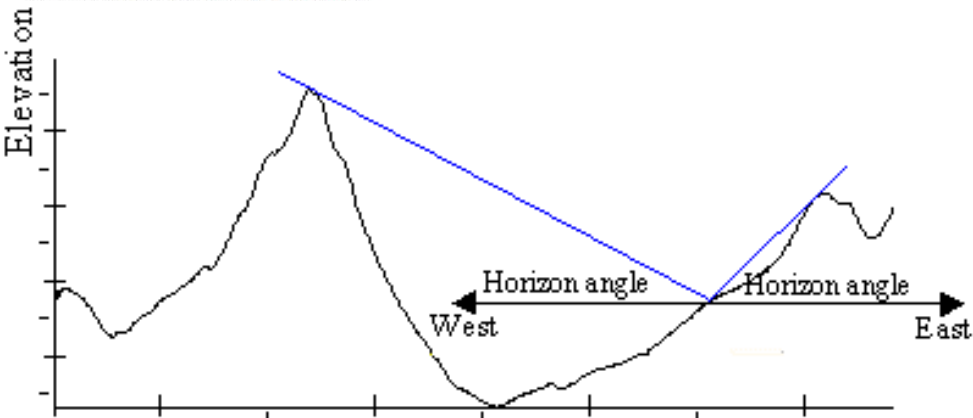
- Predikce potenciálního množství radiace dopadající na konkrétní plochu (buňku).
- Založeno na:
 1. Modelu zastínění plochy okolním terénem (hemispherical viewshed, skyview factor)
 2. Modelování trajektorie slunce pro danou zeměpisnou šířku
 3. Výpočet globálního záření na jednotku plochy jako součet přímé a difusní radiace

Model zastínění

horizontální úhly ->
interpolace pro všechny
směry -> převod úhlů na
hemisférické souř. ->
viewshed



A) Directions for Horizon Angle Calculations

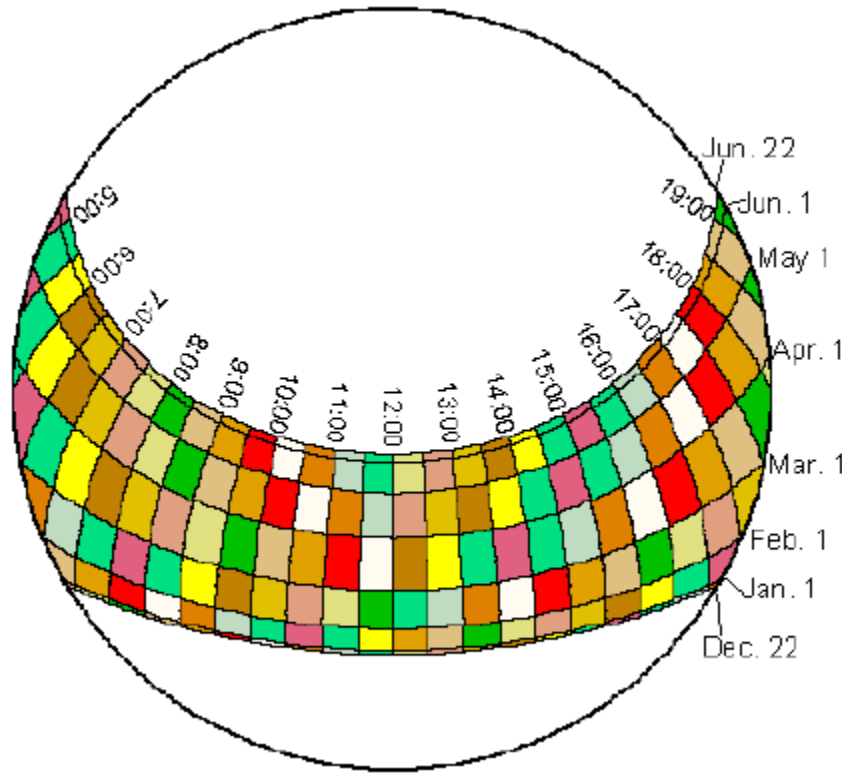


Ka

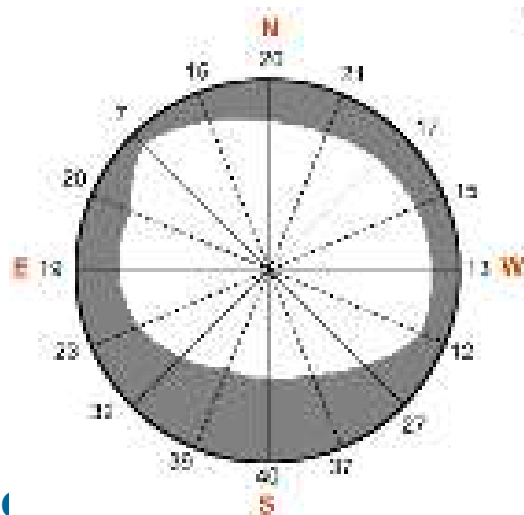
Potenciální solární radiace

Kombinace:

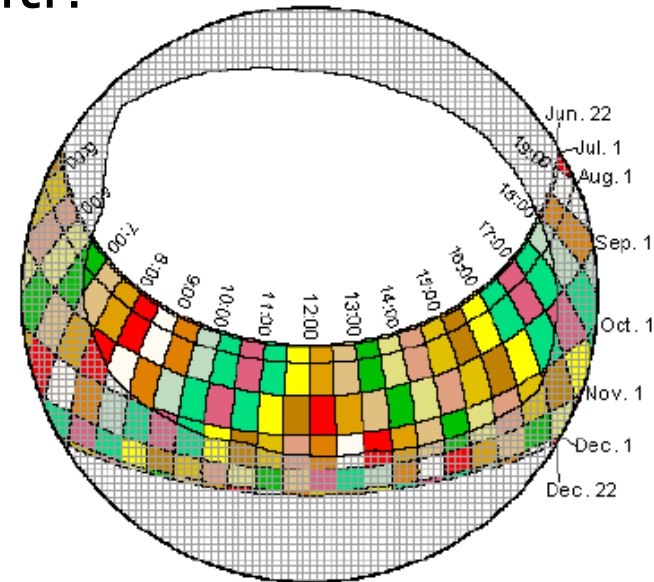
- projektované dráhy slunce (30 min, 12 měsíců) a
- hemisférického zastínění.
- Využití?



+



=





Typy reliéfu – kvantitativní přístup (Morgan 2005)

- Edward H. Hammond (1954, 1964) klasifikace typů reliéfu založenou na kvantifikaci – opakovatelnost kdekoliv na světě. Později upraveno – Dikau (1989).
- Kombinace tří charakteristik terénu – sklon svahu (slope), členitost terénu (relief), křivost (profile).
- **Hammond: Landform (terrain type) = Slope + Relief + Profile**

GIS 4 Geomorphology

Geomorphometry of Mountain Landscapes & Upland Watersheds...a little Wildlife, too



[Welcome !](#)

[Ask a Question](#)

[GIS Consulting & Training](#)

Landforms I: Hammond

Hammond-type macro landform mapping is accomplished using a DEM and the Spatial Analyst extension. Hammond's method was created for region-scale landform delineation. The steps below were reworked from Morgan et al. (2005). I have retained Morgan's workflow, but modified the neighborhood operator (changed from a 20×20 pixel radius to a 50×50 pixel rectangle), clarified several reclassification routines, and added language to match that used in the latest version of ArcGIS. The tools you need are: Spatial Analyst Extension, Focal Statistics, Reclassify, Slope, Raster Calculator, Project Raster, and Clip (raster). Input and output filenames are in quotes. We'll do the Hammond/Dikau landform model here. Look for the MORAP model in its own lesson.

LANDFORM = SLOPE + RELIEF + PROFILE

Tools You Will Use:

Focal Statistics: Spatial Analyst tools > Neighborhood > Focal Statistics

GIS LESSONS

[Channel Analysis Project](#)

[Interested in a GIS Career?](#)

[DEM Data Sources](#)

[Tips for ArcGIS](#)

[Useful GIS Links](#)

[Watershed Delineation](#)

[Minimum Eroded Volume](#)

[Terrain Roughness – 12 Ways](#)

[LIDAR: Acquire Data & Process](#)

[Vineyard Prospecting](#)



Analýzy výškopisu na Geoportále ČÚZK

Změnit mapu Produkty Hledaný výraz...

Analýzy výškopisu
Režim celé obrazovky ukončíte stisknutím klávesy F11

- ☐ Základní mapy
 - ☒ Základní mapa ČR 1:10 000 (1:7143)
 - ☒ Základní mapa ČR 1:25 000 (1:14287)
 - ☒ Základní mapa ČR 1:50 000 (1:28575)
 - ☒ Základní mapa ČR 1:100 000 (1:57150)
 - ☒ Základní mapa ČR 1:200 000 (1:114300)
- ☐ Katastrální mapa
 - ☒ Katastrální mapa (1:3571)
- ☐ ZABAGED® - polohopis
 - ☒ ZABAGED® - polohopis (1:14287)
- ☐ ZABAGED® - výškopis
 - ☒ ZABAGED® - výškopis - vrstevnice (1:14287)
 - ☒ Digitální model reliéfu ČR 4. generace
 - ☒ Digitální model reliéfu ČR 5. generace
 - ☒ Digitální model povrchu ČR 1. generace
- ☐ Ortofoto
 - ☒ Ortofoto ČR
 - ☒ Archivní ortofoto
 - ☒ Ortofoto CIR
- ☐ Státní mapa 1:5 000
 - ☒ Vektorová data nové podoby SM 5 (1:3571)
 - ☒ Rastrová data katastrální složky SM 5 (1:3571)
- ☐ Data50
 - ☒ Data50 (1:28575)
- ☐ Data200
 - ☒ Data200
- ☐ Bodová pole
 - ☒ Bodová pole
- ☐ Geonames
 - ☒ Geonames (1:14287)
- ☐ Archivní mapy
 - ☒ Archivní mapy
- ☐ Správní jednotky
 - ☒ Správní hranice a hranice KÚ
 - ☒ Územní jednotky (UX)
- ☐ INSPIRE
 - ☒ INSPIRE - Parcely (CP) (1:3571)
 - ☒ INSPIRE - Zeměpisná jména (GN) (1:14287)
 - ☒ INSPIRE - Vodstvo (HY) (1:14287)
 - ☒ INSPIRE - Dopravní sítě (TN) (1:14287)
 - ☒ INSPIRE - GGS - Grid_ETRS89-GRS80 (1:3657600)
 - ☒ INSPIRE - GGS - Grid_ETRS89-LAEA
 - ☒ INSPIRE - Adresy (AD) (1:28575)
 - ☒ INSPIRE - Územní správní jednotky (AU)
 - ☒ INSPIRE - Budovy (BU) (1:14287)
 - ☒ INSPIRE - Nadmořská výška (EL)
 - ☒ INSPIRE - Ortofotosnímky (OI)

Strukturované vrstvy

- ☐ Prohlížeč služba WMTS - Základní mapy ČR

1:1828804 20 km S-JTSK: Y=797312.32 X=866745.21 | ETRS89: B=51°35'6.59" L=13°17'45.08" | ETRS89-TM33: N=5716276.64 E=381935.32

Základní mapy ČR (WMTS) | MČR 2mil | INTERGRAPH

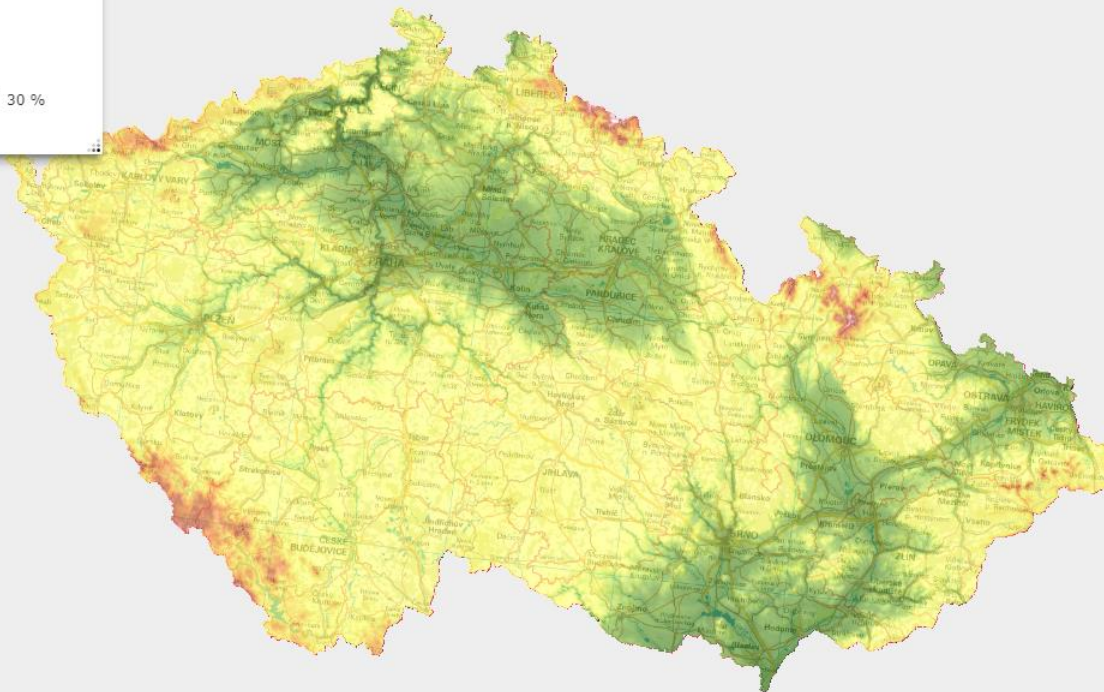
Zdroj výškopisných dat

DMR 4G DMR 5G DMP 1G

Obarvený stínovaný reliéf

Nastavení průhlednosti

30 %



60 km

Zapněte režim Výpis souřadnic bodu

DMR DMP

Map navigation and tool icons: Home, Layers, Full Screen, Print, Share, Info.

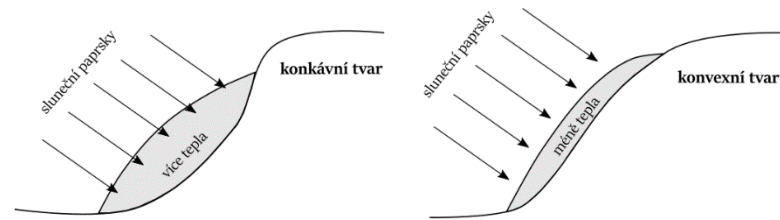
<https://ags.cuzk.cz/dmr/>

Kartografické modelování



Pilotní studie – Vliv tvarů reliéfu na tvorbu konvektivních bouřek (Ryglová, 2019)

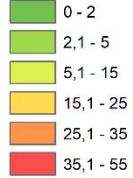
- Cíl - identifikace terénních tvarů, které mají největší vliv na vznik a vývoj atmosférické konvekce.
- **Teplotní vlivy** - potencionální spouštěcí mechanismy, které ovlivňují počáteční vliv konvekce.
- Větrné vlivy a orografické faktory - souvisí s obtékáním povrchu vzduchem.
- Souvisí s denním a ročním chodem teploty zemského povrchu.
- Nejvýznamnějšími faktory
 - sklonitost,
 - orientace,
 - zakřivení reliéfu
 - šířka údolí...



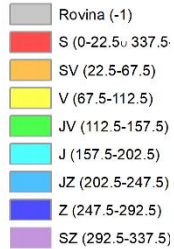


Výpočty vybraných parametrů pro pilotní území - DMP1- analytické mapy

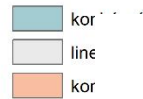
Sklonitost [°]



Orientace svahů



Tvar svahu



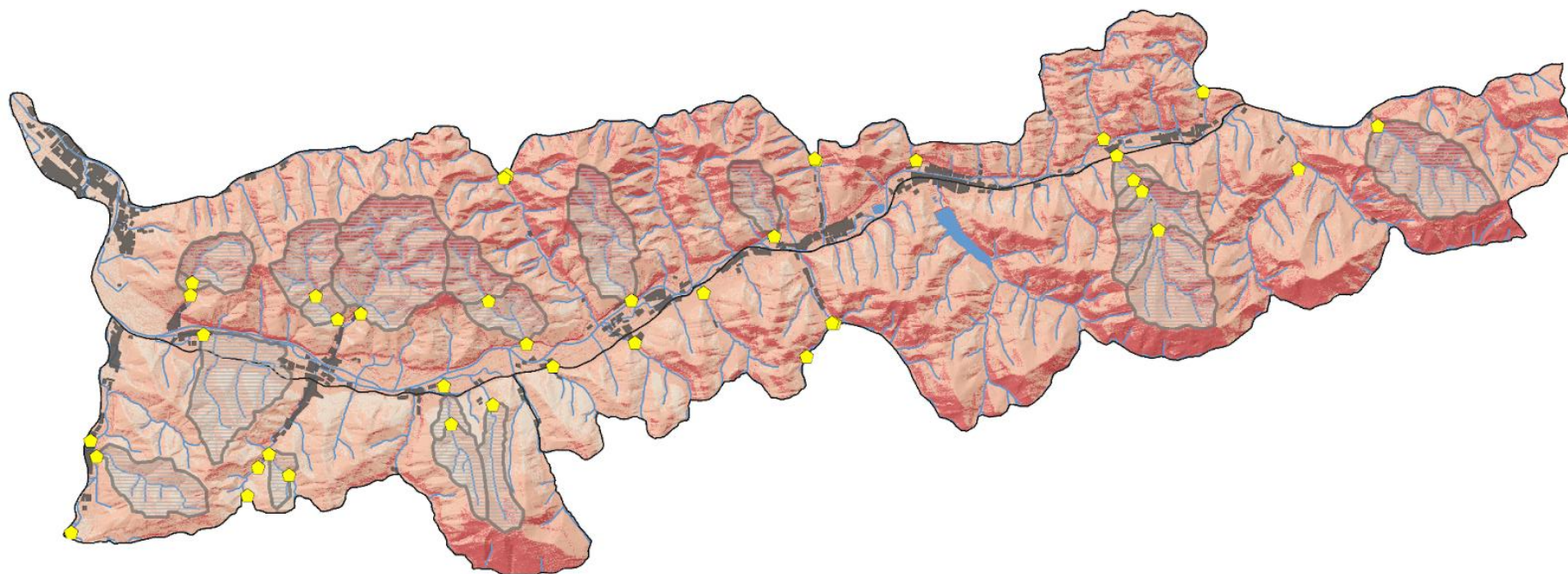
údolnice

hřbetnice

0 3 6 km


0 0.5 1 km


Syntetická mapa



 kritické body

 vodní toky

 intravilán

 vodní plochy

 přispívající plocha kritických bodů

0 5 10 km

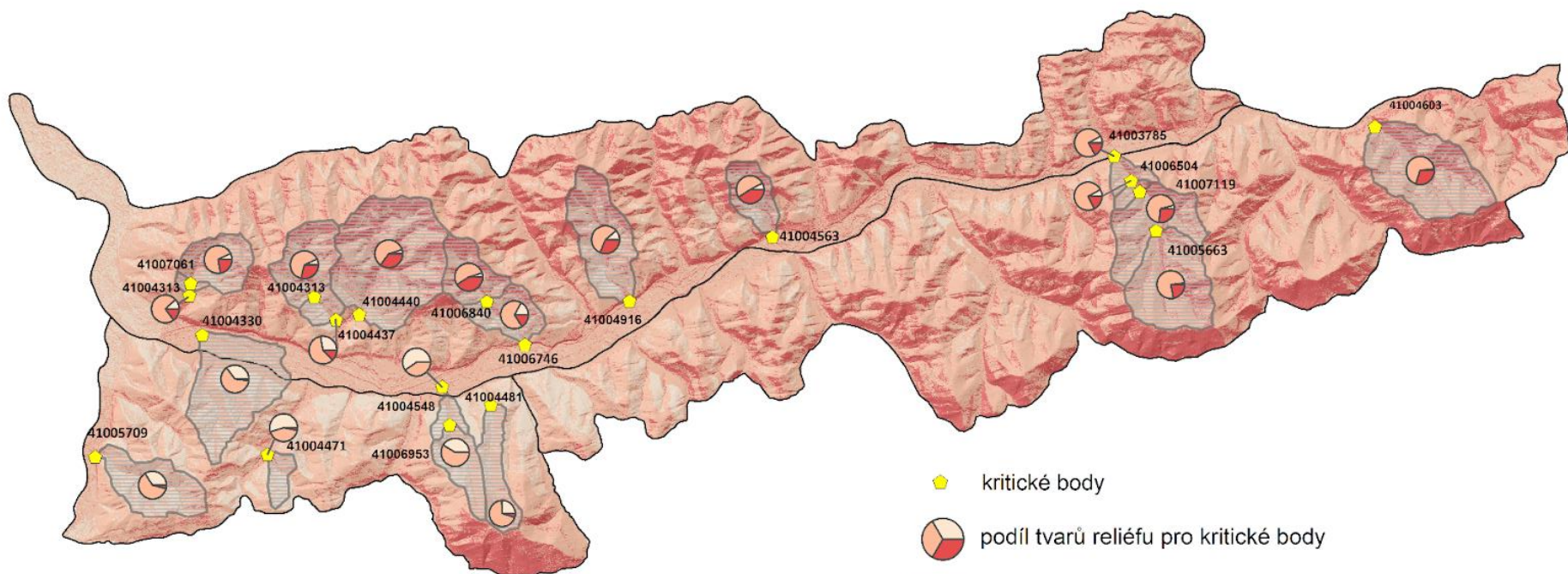
 vysoký vliv tvarů reliéfu





 střední vliv tvarů reliéfu

 nízký vliv tvarů reliéfu



Verifikace výsledků



-  kritické body
-  podíl tvarů reliéfu pro kritické body
-  vysoký vliv tvarů reliéfu
-  střední vliv tvarů reliéfu
-  nízký vliv tvarů reliéfu
-  přispívající plocha kritických bodů
- 41201200 ID kritických bodů